DOI: 10.65545/COW.2026.11.03



Efektywność energetyczna powietrznej pompy ciepła w małym budynku biurowym

Operational efficiency of an air-source heat pump with an electric heater in a small office building



Dr inż. Andrzej Górka

ORCID ID: 0000-0003-1013-5550
Wydział Inżynierii Środowiska
i Energetyki
Politechnika Poznańska
andrzej.gorka@put.poznan.pl

Słowa kluczowe: pompa ciepła powietrze/woda, monitoring, SCOP, COP, efektywność energetyczna

Streszczenie

Oceniono efektywność energetyczną powietrznej pompy ciepła o mocy 16 kW (A7/W35) ogrzewającej niewielki budynek biurowy. Analiza obejmuje miesięczny okres 10.12.2023–09.01.2024, w którym temperatura powietrza zewnętrznego wahała się od −14°C do +11°C, przy średniej +3°C. Średni współczynnik COP wyniósł 4,38 dla samej pompy ciepła oraz 3,80 dla całego układu z uwzględnieniem grzałki elektrycznej. Przedstawiono zależność COP od temperatury powietrza zewnętrznego oraz rozkład ilości oddanego ciepła w funkcji współczynnika COP. Uproszczone przeliczenie na standardowy rozkład temperatur dla całego sezonu grzewczego dało odpowiednio wartości 4,55 (bez grzałki) i 4,26 (z grzałką). Ze względu na krótki okres pomiarowy i pewne braki w danych liczby te mogą różnić się od normowego współczynnika SCOP.

Keywords: air-to-water heat pump, monitoring, SCOP, COP, energy efficiency

Abstract

The energy performance of a 16 kW (A7/W35) air-to-water heat pump heating a small office building was evaluated. The analysis covered the period from 10 December 2023 to 9 January 2024, during which the outdoor air temperature ranged from −14°C to +11°C, with a mean of +3°C. The mean COP was 4.38 for the heat pump alone and 3.80 for the entire system, including the auxiliary electric heater. The relationship between COP and outdoor air temperature, together with the distribution of heat delivered across COP ranges, is presented. A simplified calculation using a standard temperature distribution for the entire heating season yielded values of 4.55 without the auxiliary heater and 4.26 with it. Given the short monitoring period and gaps in the data, these values may differ from the SCOP determined in accordance with the applicable standard.

Wstęp

Obecnie największym wyzwaniem jest integracja pomp ciepła z systemami grzewczymi w istniejących budynkach (Cholewa i in., 2025), choć to zastosowanie pomp ciepła w nowych budynkach daje największe szanse na uzyskanie bardzo efektywnych systemów grzewczych. Wyniki pomiarów instalacji z pompą ciepła w polskim budynku jednorodzinnym przedstawili Zmywaczyk i in. (2022a, 2022b). Szersze badania terenowe (Fraunhofer ISE, 2019; Wapler i in., 2020) wskazują na znaczenie temperatury zasilania instalacji grzewczej. Wyniki badań terenowych zwykle różnią się od sezonowej oceny według PN-EN 14825 (PKN, 2022).

Celem pracy jest ogólna ocena efektywności energetycznej badanej instalacji, określenie wpływu uwzględnienia grzałki na ocenę tej efektywności oraz przedstawienie rozkładu ilości ciepła wytworzonego przez pompę ciepła względem COP. Wykorzystano dane pomiarowe użyte w pracy inżynierskiej (Adamczak, 2024) dla fragmentu sezonu grzewczego 2023/24.

Materiały i metody

Obiekt badań

Dwukondygnacyjny budynek biurowy w południowej Wielkopolsce ma powierzchnię użytkową 256 m^2 i projektowe obciążenie cieplne około 15 kW (Adamczak, 2024). Monoblokowa pompa ciepła z czynnikiem R290 współpracuje z buforem o pojemności 500 dm^3 oraz ogrzewaniem podłogowym o projektowych parametrach 40/35°C. Pompa ciepła jest wyposażona w grzałkę elektryczną o mocy 6 kW. Pompa ciepła pracuje wyłącznie na potrzeby ogrzewania; ciepłą wodę użytkową przygotowuje kocioł gazowy. Dokumentacja producenta podaje spadek mocy grzewczej pompy ciepła z około 16 kW przy A7/W35 do 9,2 kW przy A−15/W35 oraz COP = 4,76 przy A7/W35, 3,96 przy A2/W35 i 2,87 przy A−15/W35 (warunki badań według (PKN, 2023)).

Pomiary i sposób opracowania danych

Parametry pracy pompy ciepła odczytywano ze sterownika z interwałem 1–2 min. W przypadku grzałki elektrycznej możliwy był jedynie odczyt łącznej ilości dostarczonej

do niej energii w całym okresie pomiarowym. Energię tę przydzielono do poszczególnych godzin pracy pompy ciepła według założonego algorytmu, proporcjonalnie do liczby stopniogodzin odniesionej do temperatury powietrza zewnętrznego równej 0°C.

Uzyskaną z pomiarów charakterystykę COP w przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego przeliczono na godziny standardowego klimatu umiarkowanego (Komisja Europejska, 2013). Oszacowany wskaźnik oznaczono jako SCOP' dla odróżnienia od pełnej procedury normowej (PKN, 2022).

Wyniki

Na Rysunku 1 zilustrowano przebiegi temperatur zasilania, powrotu i powietrza zewnętrznego oraz występowanie przepływu czynnika w źródle dla dwóch przykładowych dób: 3 stycznia, z dodatnią temperaturą powietrza zewnętrznego (od +5°C do +10°C), oraz 9 stycznia, z temperaturą wyraźnie ujemną (od −6°C do −14°C).

Widoczny jest efekt braku regulacji pogodowej: regulator stara się wprawdzie utrzymać stałą temperaturę zasilania ok. +40°C (według projektu), ale faktycznie przy temperaturze zewnętrznej ok. +10°C (3.01) temperatury zasilania są nawet nieco wyższe niż przy ok. −8°C (9.01).

Dla całego analizowanego okresu uzyskano:

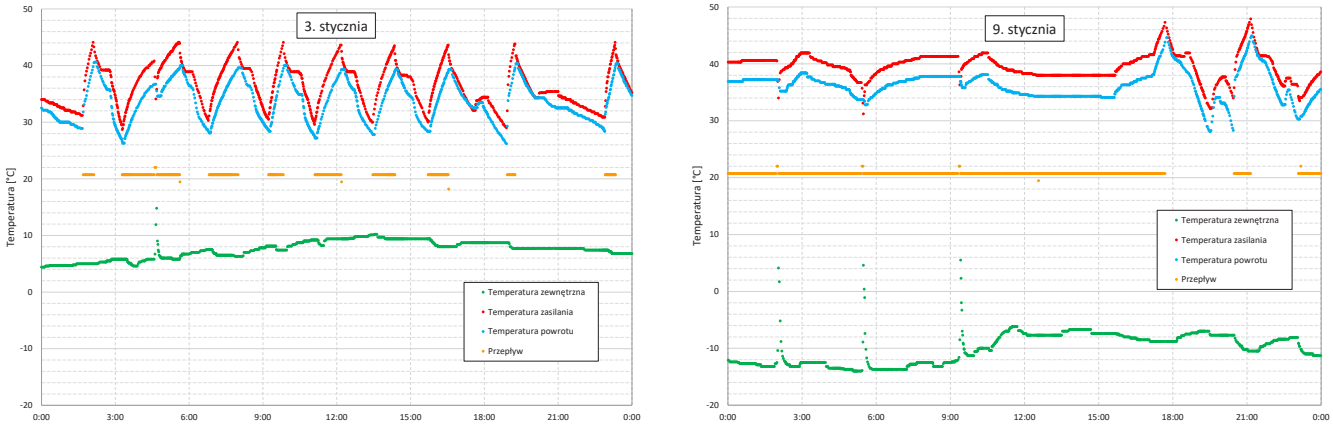
QPC+G = 4236 kWh – całkowite ciepło uzyskane z pompy ciepła wraz z grzałką;

EPC = 924 kWh – energia elektryczna pobrana przez samą pompę ciepła;

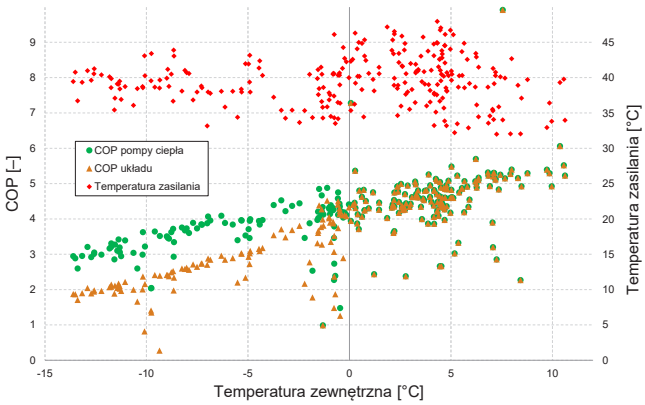
– QG = EG = 191 kWh – energia elektryczna pobrana przez grzałkę elektryczną.

Współczynnik COP pompy ciepła bez grzałki wyniósł 4,38, a po uwzględnieniu grzałki elektrycznej 3,80. Udział energii elektrycznej dostarczonej do grzałki w całkowitym zużyciu energii elektrycznej jest stosunkowo duży (17%) ze względu na wystąpienie w analizowanym, krótkim okresie dwóch mroźnych dni o średniej temperaturze poniżej −10°C i kilku podobnych, nieco mniej mroźnych.

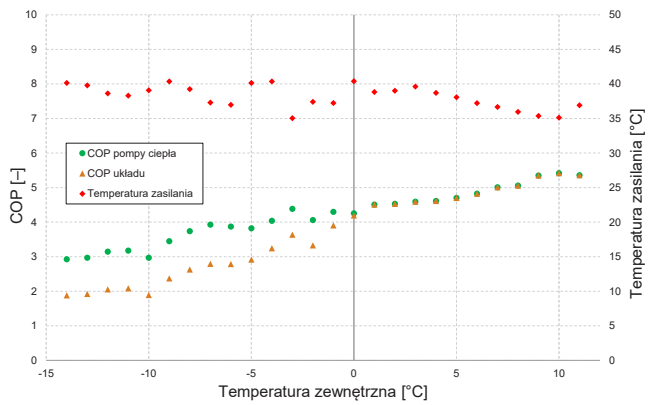
Na Rysunku 2 przedstawiono rozkład godzinowych wartości COP w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego, natomiast na Rysunku 3 – analogiczne charakterystyki, uzyskane przez agregację energii w przedziałach temperatury.



Rysunek 1. Przebiegi temperatur i przepływ w źródle ciepła przy wyższych (po lewej) i niższych (po prawej) temperaturach powietrza zewnętrznego. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Adamczyk, 2024)
Figure 1. Temperatures and heating fluid flow (on/off) at higher (left) and lower (right) outdoor air temperatures. Source: author's own study based on (Adamczyk, 2024)

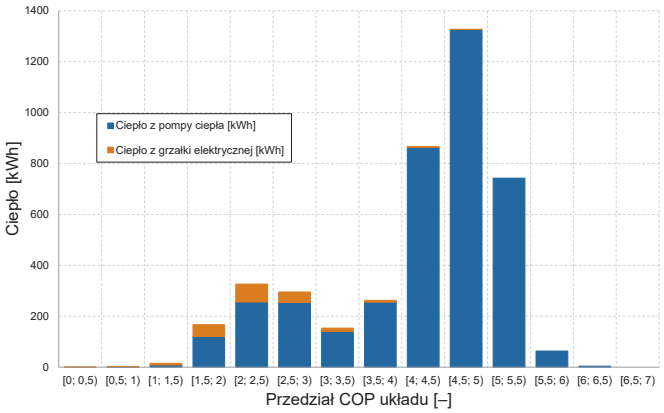


Rysunek 2. Godzinowe współczynniki COP pompy ciepła na podstawie pomiarów energii cieplnej i elektrycznej. Pojedyncze wartości mniejsze od 1 i większe od 6 mogą być skutkiem występujących stanów nieustalonych. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Adamczyk, 2024)
Figure 2. Hourly heat pump COP values based on measurements of thermal and electrical energy. Individual values below 1 and above 6 may result from transient operating conditions. Source: author's own study based on (Adamczyk, 2024)



Rysunek 3. Wartości COP w przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Adamczyk, 2024)
Figure 3. Temperature-bin COP values. Source: author's own study based on (Adamczyk, 2024)

Na Rysunku 4 zilustrowano ilości ciepła uzyskane z pompy ciepła w podziale na przedziały współczynnika COP układu. Zdecydowana większość ciepła jest wytwarzana przy wysokim współczynniku COP – w trzech przedziałach obejmujących łącznie zakres od 4,0 do 5,5.



Rysunek 4. Ilości wytworzonego ciepła podzielone według współczynnika COP układu. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Adamczyk, 2024)
Figure 4. Distribution of heat output by COP of the system. Source: author's own study based on (Adamczyk, 2024)

Na podstawie wartości współczynników COP uzyskanych z pomiarów pobranej energii elektrycznej i wytworzonego ciepła dla różnych temperatur powietrza zewnętrznego obliczono dla całego sezonu grzewczego – zgodnie z metodyką rozporządzenia (Komisja Europejska, 2013) i przy temperaturze granicznej ogrzewania +16°C – współczynnik SCOP′. Jest on równy 4,5 dla samej pompy ciepła (bez grzałki) oraz 4,2 po uwzględnieniu grzałki elektrycznej.

Dla temperatury zasilania instalacji grzewczej tz = 35°C producent deklaruje parametry odpowiadające SCOP = 4,1. Efektywność energetyczna obliczona w sposób przybliżony na podstawie pomiarów terenowych jest więc nieco lepsza niż deklarowana w danych katalogowych.

Wnioski

1. Pompa ciepła pracuje przy praktycznie stałej temperaturze zasilania; wprowadzenie regulacji pogodowej prawdopodobnie poprawiłoby jej efektywność energetyczną.
2. W badanym okresie uzyskano średni współczynnik COP = 4,38 dla samej pompy ciepła bez grzałki oraz COP = 3,80 dla całego układu grzewczego wraz z grzałką elektryczną.
3. Na podstawie uzyskanych z pomiarów wartości współczynników COP dla różnych warunków pracy pompy ciepła obliczono przybliżony współczynnik sezonowej efektywności SCOP′. Jest on równy 4,5 dla samej pompy ciepła i 4,2 po uwzględnieniu grzałki elektrycznej. Są to wartości nieco wyższe od deklarowanych przez producenta.
4. Budynek o projektowym zapotrzebowaniu na moc cieplną ok. 15 kW jest ogrzewany przez pompę ciepła o mocy ok. 8,5 kW (moc przy zewnętrznej temperaturze obliczeniowej −18°C) wspomaganą grzałką elektryczną o mocy 6 kW. Ze względu na bardzo rzadko występujące tak niskie temperatury, nowoczesna powietrzna pompa ciepła o mocy nieznacznie przekraczającej 50% projektowego obciążenia cieplnego, wyposażona w stosowną grzałkę elektryczną, okazuje się efektywnym źródłem ciepła do ogrzewania budynku.

Bibliografia

Adamczak, B. (2024). Ocena eksploatacyjnej efektywności energetycznej pompy ciepła Politechnika Poznańska (niepublikowana praca inżynierska)

Cholewa, T., Bejan, A.-S., Miara, M., Schauer, C., Kosonen, R., Borodinecs, A., Bogdanovičs, R., Amanowicz, Ł., Vering, C., Siuta-Olcha, A., Skwarczyński, M. A., Kropp, M., Kurnitski, J., Lungu, C., Croitoru, C., Afshari, A., Alfano, F. R. d'A., Müller, D., Nastase, I., Todorovic, M., & Sekret, R. (2025). Critical discussion on the challenges of integrating heat pumps in hydronic systems in existing buildings. *Energy*, 326, 136158. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136158

Fraunhofer ISE. (2019). *WPsmart im Bestand: Heat pump field trial – Focus existing buildings and smart control*. https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/wpsmart-im-bestand-heat-pump-field-trial-focus-existing-buildings-and-smart-control.html (Dostęp z 30.10.2026)

Komisja Europejska. (2013). Rozporządzenie Komisji (UE) nr 813/2013 z dnia 2 sierpnia 2013 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L 239, 136–161. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32013R0813 (Dostęp z 30.10.2026)

PKN. (2022). PN-EN 14825:2022-11 *Klimatyzatory, agregaty do chłodzenia cieczy oraz pompy ciepła ze sprężarkami napędzanymi elektrycznie, do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń – Badanie i ocena w warunkach częściowego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej*. Polski Komitet Normalizacyjny.

PKN. (2023). PN-EN 14511-2:2023-02 *Klimatyzatory, agregaty chłodzące ciecz i pompy ciepła do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń oraz agregaty procesowe, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Część 2: Warunki badań.* Polski Komitet Normalizacyjny.

Wapler, J., Günther, D., Bongs, C., & Miara, M. (2020). Heat pump efficiency in existing buildings – Results from a field measurement campaign. *REHVA Journal*, (6), 16–20. https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/default-cb84adc317-5 (Dostęp z 30.10.2026)

Zmywaczyk, J., Koniorczyk, P., & Wizor, M. (2022a). Energetyczno-ekonomiczna analiza instalacji ogrzewania budynku wyposażonej w sprężarkową pompę ciepła. Cz. 2 – Opis instalacji budynku i wyniki badań. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 53(4), 10–14. https://doi.org/10.15199/9.2022.4.2

Zmywaczyk, J., Koniorczyk, P., & Wizor, M. (2022b). Energetyczno-ekonomiczna analiza instalacji ogrzewania budynku wyposażonej w sprężarkową pompę ciepła. Cz. 3 – Obliczenia parametrów sprężarkowej pompy ciepła. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwon Wentylacja*, 53(5), 30–34. https://doi.org/10.15199/9.2022.5.5

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. *Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.*

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja.* The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.*